ODABRANA POGLAVLJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Master akademske studije, I semestar

Prof dr Stanko Brčić
email: stanko@np.ac.rs

Departman za Tehničke nauke
Državni Univerzitet u Novom Pazaru

2015/16



Sadržaj



Sadržaj



Evrokod 1 EN 1991-4:2006

BRITISH STANDARD

BS EN 1991-4:2006

Eurocode 1 — Actions on structures —

Part 4: Silos and tanks



Tehnički propisi za proračun silosa

EN 1991-4:2006 - predmet razmatranja

- Evrokod 1 (EN 1991) obezbeđuje opšte principe i dejstva u proračunima zgrada i drugih građevinskih konstrukcija, uključujući i geotehničke aspekte
- Evrokod 1 ne odnosi se na posebne projektne situacije i objekte, kao što su nuklearne elektrane i sl.
- Evrokod 1, Deo 4, posvećen je analizi opterećenja, a time i načinu proračuna, silosa za rastresite materijale i rezervoara za tečnosti



Tehnički propisi za proračun silosa

EN 1991-4:2006 - predmet razmatranja

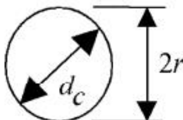
- Određivanje opterećenja, prema EN 1991-4:2006, primenjuje se na konstrukcije za skladištenje rastresitog materijala (kao i tečnosti), uz sledeća geometrijska ograničenja:
  - oblici poprečnih preseka su ograničeni na preseke prikazane na slici (d) (dozvoljavaju se i manja odstupanja)
  - geometrijske mere ograničene su uslovima

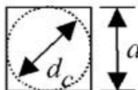
$$h_b/d_c < 10 \qquad h_b < 100\,[m] \qquad d_c < 60\,[m]$$

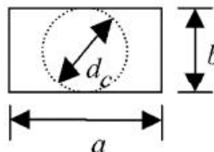
  - prelazna oblast pripada jednoj horizontalnoj ravni (slika (a))
  - unutrašnost silosa ne sadrži elemente kao što su konus ili piramida, sa vrhom na gore, ili poprečne grede i slično
  - pravougaoni silosi mogu da sadrže unutrašnje veze (recimo zatege)

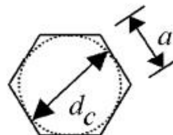


Evrokod 1 EN 1991-4:2006: poprečni preseci





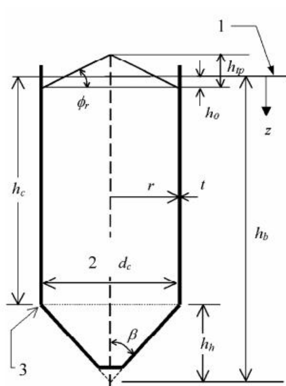




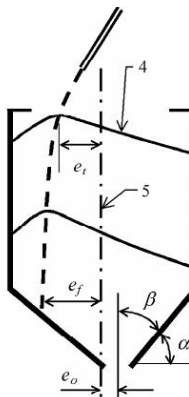
d) Cross-section shapes



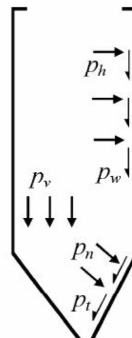
Evrokod 1 EN 1991-4:2006: geometrija silosa



a) Geometry



b) Eccentricities



c) Pressures and tractions



Tehnički propisi za proračun silosa

EN 1991-4:2006 - predmet razmatranja

- Na slikama (a) i (b) uvedene su oznake:
  1 . . . ekvivalentna površ
  2 . . . unutrašnja dimenzija (prečnik)
  3 . . . prelazna oblast
  4 . . . profil površi materijala u silosu (pun silos)
  5 . . . centralna linija (osa) silosa
- Na slici (c) prikazane su oznake za pritiske u silosu:
  - p_v . . . vertikalan pritisak
  - p_h . . . horizontalan pritisak
  - p_w . . . trenje po zidovima
  - p_n . . . normalni pritisak na zidove levka
  - p_t . . . tangencijalni pritisak na zidove levka



Tehnički propisi za proračun silosa

EN 1991-4:2006 - predmet razmatranja

- Usvajaju se sledeća ograničenja vezano za uskladišteni rastresiti materijal u određivanju opterećenja prema EN 1991-4:2006:
  - silosi se projektuju za definisane intervale vrednosti osobina uskladištenog materijala
  - uskladišteni materijal slobodno teče u silosu
  - najveće zrno uskladištenog materijala nije veće od $0.03\, d_c$
- Usvajaju se sledeća ograničenja vezano za punjenje i pražnjenje materijala:
  - prilikom punjenja javljaju se zanemarljivi inercijalni efekti i udarne sile
  - kada se koristi oprema za pražnjenje silosa, tečenje materijala je glatko i centralno



Tehnički propisi za proračun silosa

EN 1991-4:2006 - predmet razmatranja

- Posmatraju se samo silosi kod kojih je levak za ispuštanje uskladištenog materijala
  - konusnog oblika (rotaciono simetričan)
  - oblika piramide sa četvorougaonom osnovom
  - klinastog oblika sa vertikalnim zidovima na kraju
- Ostali oblici levka za isticanje nisu obuhvaćeni standardnom EC1, deo 4
- Silosi sa sistematično nesimetričnom geometrijom nisu obuhvaćeni standardom



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - klasifikacija silosa

- Evrokod 1, deo 4, odnosi se na silose i rezervoare
- Klasifikacija dejstava na silose prema EC1, Deo 4:
  - opterećenja usled uskladištenog materijala u silosu su, načelno, promenljiva (korisna) dejstva
  - simetrična opterećenja u silosu su promenljiva stalna dejstva
  - lokalna dejstva vezana za punjenje i pražnjenje silosa posmatraju se kao promenljiva slobodna dejstva
  - ekscentrična opterećenja usled ekscentičnog punjenja ili pražnjenja posmatraju se kao promenljiva stalna dejstva
  - opterećenja usled eksplozije prašine uskladištenog materijala posmatraju se kao incidentna opterećenja



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - klasifikacija silosa na klase

- U zavisnosti od kapaciteta silosa, kao i od nekih geometrijskih dimenzija, silosi se dele na tri klase: "Action Assesment Class" (klase prema proceni dejstava)
- Klase silosa određuju se prema uslovima pojedinačnih ćelija silosa, a ne prema svim ćelijama u bateriji silosa
- Preporučeni kriterijumi podele silosa na klase su:
  - Klasa 3 (AAC 3) ...silos sa kapacitetom koji je veći od 10 000 tona
  - Klasa 2 (AAC 2) ...svi silosi na koje se odnosi standard EC1, deo 4, a koji nisu svrstani u druge klase
  - Klasa 1 (AAC 1) ...silosi sa kapacitetom manjim od 100 tona

  (u nacionalnim dokumentima mogu da se promene kriterijumi)
- Podela silosa na klase AAC vezana je za nesigurnosti procene dejstava sa odgovarajućom preciznošću

Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - klasifikacija silosa na klase

- Silosi koj spadaju u Klasu 3 (AAC 3) imaju i dodatne kriterijume klasifikacije:
  - silos sa kapacitetom koji je veći od 10 000 tona
  - silos sa kapacitetom većim od 1000 tona, ako postoji bilo koja od projektnih situacija:
    - (a) ekscentrično pražnjenje sa $e_o/d_c > 0.25$
    - (b) zdepasti silos sa ekscentricitetom na vrhu $e_t/d_c > 0.25$
- Viša klasa silosa može da bude usvojena od strane nacionalnih autoriteta (nacionalnih tela)
- Za silose Klase 1 mogu da se u proračunu koriste odredbe uprošćenog proračuna date u EC1, deo 4



Evrokod 1 EN 1991-4:2006

Table 2.1: Recommended classification of silos for action assessments

Action Assessment Class	Description
Action Assessment Class 3	Silos with capacity in excess of 10 000 tonnes Silos with capacity in excess of 1000 tonnes in which any of the following design situations occur: a) eccentric discharge with $e_o/d_c > 0{,}25$ (see figure 1.1b) b) squat silos with top surface eccentricity with $e_t/d_c > 0{,}25$
Action Assessment Class 2	All silos covered by this standard and not placed in another class
Action Assessment Class 1	Silos with capacity below 100 tonnes

Preporučena klasifikacija silosa prema oceni dejstava na silose



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - dejstva na silose

- Dejstva na silose i rezervoare određuju se u skladu sa Evrokodom 0
- Projektne situacije opterećenja za silose zavise od karakteristika tečenja uskladištenog materijala
- Kombinacije proračunskih opterećenja usvajaju se u skladu sa odredbama Evrokoda 0
- Sledeće incidnentne situacije razmatraju se u proračunu silosa, ukoliko to odgovara:
  - dejstva usled eksplozija uskladištenog materijala
  - dejstva usled udara vozila u ćeliju silosa
  - seizmička dejstva
  - požarna dejstva



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - dejstva na silose

- Kombinacije opterećenja usled punjenja i pražnjenja materijala u silosu koriste se u prikazivanju proračunskh opterećenja i kombinacija u analizi graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja upotrebljivosti
- U Evrokodu 1, deo 4, kao i u ostalim Evrokodovima za konstrukcije, postoje principi, označeni sa (P), koji pretstavljaju opšte iskaze i definicije za koje nema alternative
- Principi takođe sadrže i zahteve i analitičke modele za koje takođe nije dozvoljena alternativa, osim ukoliko se eksplicitno ne navede alternativa



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - dejstva na silose

- Osim principa, u EC1 data su i pravila za primenu, koja su zasnovana na principima i zadovoljavaju zahteve principa
- Dozvoljeno je da se koriste i drugačija pravila od navedenih u Evrokodu, pod uslovom da se dokaže da su druga pravila u skladu sa principima u Evrokodu i da imaju barem istu pouzdanost kao i pravila u Evrokodu



Sadržaj



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - karakteristike materijala

- Relevantne karakteristike uskladištenog materijala su
  - γ ... zapreminska težina materijala
  - μ ... koeficijent trenja materijala sa zidom silosa
  - K ... odnos bočnog i vertikalnog pritiska materijala
  - Φ_i ... ugao unutrašnjeg trenja materijala
- U svim proračunima pritisaka koristi se gornja karakteristična vrednost zapreminske težine
- Karakteristične vrednosti ostalih podataka o materijalu daju se kao srednja vrednost i faktor a, koji je veći od 1.0
- Srednja vrednost može da se množi ili da se deli sa faktorom, tako da se dobijaju različite karakteristične vrednosti



EN 1991-4:2006: karakteristike materijala

Table E.1: Particulate solids properties

Type of particulate solid [d, e]	Unit weight [b] γ		Angle of repose ϕ_r	Angle of internal friction ϕ_i		Lateral pressure ratio K		Wall friction coefficient [c] μ ($\mu = \tan \phi_w$)				Patch load solid reference factor C_{op}
	γ_ℓ	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	Wall type D1	Wall type D2	Wall type D3	a_μ	
	Lower	Upper		Mean	Factor	Mean	Factor	Mean	Mean	Mean	Factor	
	kN/m^3	kN/m^3	degrees	degrees								
Default material [a]	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Aggregate	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Alumina	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Animal feed mix	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Animal feed pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Barley ✪	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Cement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Cement clinker ♮	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Coal ✪	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Coal, powdered ✪	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Coke	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Flyash	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Flour ✪	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6

EN 1991-4:2006: karakteristike materijala

Flour ✪	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Iron ore pellets	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Lime, hydrated	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Limestone powder	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Maize ✪	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Phosphate	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Potatoes	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Sand	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Slag clinkers	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Soya beans	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Sugar ✪	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Sugarbeet pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Wheat ✪	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

NOTE Where this table does not contain the material to be stored, testing should be undertaken.

[a] For situations where it is difficult to justify the cost of testing, because the cost implications of using a wide property range for the design are minor, the properties of the "default material" may be used. For small installations, these properties may be adequate. However, they will lead to very uneconomic designs for large silos, and testing should always be preferred.

[b] The unit weight of the solid γ_u is the upper characteristic value, to be used for all calculations of actions. The lower characteristic value γ_ℓ is provided in Table E.1 to assist in estimating the required volume of a silo that will have a defined capacity.

[c] Effective wall friction for wall Type D4 (corrugated wall) may be found using the method defined in Annex D, D.2.

[d] Solids in this table that are known to be susceptible to dust explosion are identified by the symbol ✪

[e] Solids that are susceptible to mechanical interlocking are identified by the symbol ♮



EN 1991-4:2006: karakteristike materijala

Table 3.1: Values of properties to be used for different wall loading assessments

	Characteristic value to be adopted		
Purpose:	Wall friction coefficient μ	Lateral pressure ratio K	Angle of internal friction ϕ_i
For the vertical wall or barrel			
Maximum normal pressure on vertical wall	Lower	Upper	Lower
Maximum frictional traction on vertical wall	Upper	Upper	Lower
Maximum vertical load on hopper or silo bottom	Lower	Lower	Upper



EN 1991-4:2006: karakteristike materijala

Purpose:	Wall friction coefficient μ	Hopper pressure ratio F	Angle of internal friction ϕ_i
For the hopper wall			
Maximum hopper pressures on filling	Lower value for hopper	Lower	Lower
Maximum hopper pressures on discharge	Lower value for hopper	Upper	Upper

NOTE 1: It should be noted that $\phi_{wh} \leq \phi_i$ always, since the material will rupture internally if slip at the wall contact demands a greater shear stress than the internal friction can sustain. This means that, in all evaluations, the wall friction coefficient should not be taken as greater than $\tan\phi_i$ (i.e. $\mu = \tan\phi_w \leq \tan\phi_i$ always).

NOTE 2: Hopper normal pressure p_n is usually maximized if the hopper wall friction is low because less of the total hopper load is then carried by wall friction. Care should be taken when choosing which property extreme to use for the hopper wall friction to ensure that the structural consequences are fully explored (i.e. whether friction or normal pressures should be maximized depends on the kind of structural failure mode that is being considered).



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - karakteristike materijala

- Osobine uskladištenog materijala, u principu, usvajaju se na osnovu eksperimenata ili prema drugim relevantnim podacima
- U uprošćenom postupku, karakteristične vrednosti poznatih rastresitih materijala u silosu treba da se usvoje prema podacima datim u Tabeli E.1
- U određivanju karakterističnih vrednosti parametara μ, K i Φ_i koriste se srednje vrednosti i faktori konverzije a koji su dati u Tabeli E.1



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - karakteristike materijala

- Gornja i donja karakteristična vrednost koeficijenta trenja sa zidovima μ

$$\mu = a_\mu \cdot \mu_m \qquad \mu = \mu_m / a_\mu$$

- Gornja i donja karakteristična vrednost odnosa napona K

$$K = a_K \cdot K_m \qquad K = K_m / a_K$$

- Gornja i donja karakteristična vrednost ugla unutrašnjeg trenja materijala Φ_i

$$\Phi_i = a_\Phi \cdot \Phi_{im} \qquad \Phi_i = \Phi_{im} / a_\Phi$$



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - kategorije hrapavosti zidova

- U EC1, deo 4, usvojene su kategorije hrapavosti zidova silosa
- To su kategorije
  - Kategorija D1 . . . malo trenje, označeno kao "klizavo"
  - Kategorija D2 . . . umereno trenje, označeno kao "glatko"
  - Kategorija D3 . . . visoko trenje, označeno kao "hrapavo"
  - Kategorija D4 . . . nepravilno trenje
- Za zidove silosa klasifikovane kao D4, u Aneksu D data je preporuka za efektivni koeficijent trenja

$$\mu_{eff} = (1 - a_w)\tan\Phi_i + a_w\,\mu_w$$

gde su a_w i μ_w definisani u delu D.2



EN 1991-4:2006: kategorije hrapavosti zidova

Table 4.1: Wall surface definitions

Category	Descriptive title	Typical wall materials
D1	Low friction classed as "Slippery"	Cold-rolled stainless steel Polished stainless steel Coated surface designed for low friction Polished aluminium Ultra high molecular weight polyethylene[a]
D2	Moderate friction classed as "Smooth"	Smooth mild carbon steel (welded or bolted construction) Mill finish stainless steel Galvanized carbon steel Oxidized aluminium Coated surface designed for corrosion resistance or abrasive wear
D3	High friction classed as "Raspy"	Off form concrete, steel finished concrete or aged concrete Aged (corroded) carbon steel Abrasion resistant steel Ceramic tiles
D4	Irregular	Horizontally corrugated walls Profiled sheeting with horizontal ribs Non-standard walls with large aberrations

NOTE: The descriptive titles in this table are given in terms of friction rather than roughness because there is a poor correlation between measured wall friction between a sliding granular solid and the surface and measures of roughness.

[a] The roughening effect of particles being impressed into the surface should be considered carefully for these surfaces.



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - karakteristike materijala

- U EC1, deo 4, data su uputstva kako treba da se eksperimentalno određuju karakteristike materijala za dobijanje karakterističnih vrednosti u proračunu opterećenja
- Navodi se prihvatljiva približna formula za srednju vrednost odnosa horizotalnog i vertikalnog napona:

$$K_m = 1.1\,(1 - \sin\Phi_{im}) \qquad (1)$$



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - karakteristike materijala

- Postoji formula u literaturi za odnos horizontalnog i vertikalnog napona:

$$\lambda = 1 - \sin\varphi$$

a u (starim) nemačkim propisima DIN 1055, deo 6, usvojeno je

$$\lambda = 1.2\,(1 - \sin\varphi)$$

- Sa φ je označen ugao unutrašnjeg trenja materijala, dok je $\lambda = K$ odnos napona



Sadržaj



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - vrste protoka materijala

- Kao princip, navodi se da različite vitkosti silosa (odnosi h_c/d_c), geometrije levka i uslovi isticanja dovode do različitih proračunskih situacija koje moraju da se razmatraju
- Ako trajektorija rastresitog materijala pri punjenju silosa dovodi do ekscentrične gomile na nekom nivou, različite gustine pakovanja mogu da se realizuju u pojedinim delovima silosa
- Ova situacija može da dovede do nesimetričnih pritisaka pri punjenju silosa



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - vrste protoka materijala

- U projektu silosa moraju da se razmatraju posledice mogućih načina isticanja materijala
- Mogu da se jave sledeći osnovni oblici isticanja materijala
  1. isticanje u masi ("mass flow")
  2. isticanje kroz kanal ("pipe flow")
  3. mešovito isticanje ("mixed flow")
- Isticanje celom masom je najjednostavnije, a isticanje kroz kanal ima više različitih oblika



EN 1991-4:2006: osnovni oblici isticanja

3
4
5
6 6
4
7
5
8
6 6
1
2

a) Mass flow b) Pipe flow c) Mixed flow



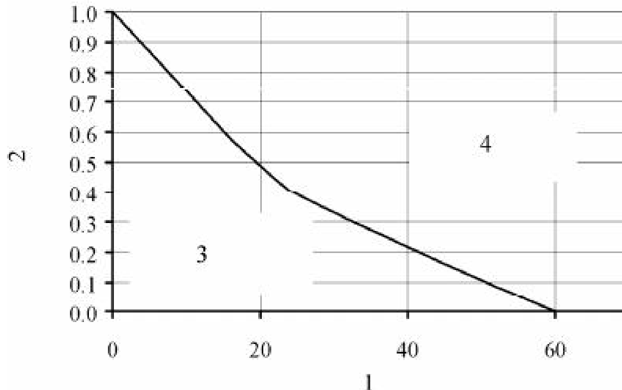
Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - osnovni oblici isticanja

- Legenda uz prethodnu sliku:
  1. isticanje celom masom
  2. isticanje kroz levak
  3. sav materijal u pokretu
  4. tečenje
  5. granica kanala tečenja
  6. stacionarno (miruje)
  7. efektivni prelaz
  8. efektivni levak
- Tamo gde se odvija tečenje kroz levak koje je uvek unutar rastresitog materijala, pritisci prilikom pražnjenja mogu da se zanemare



EN 1991-4:2006: oblici isticanja za konusni levak



a) Conical hoppers



Oblici isticanja za piramidalni levak

b) Wedge hoppers



Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - oblici isticanja kroz levak

- Legenda uz prethodne slike:
  1. ugao β između ose silosa i izvodnice levka (u stepenima)
  2. koeficijent trenja μ između zidova levka i materijala
  3. zona isticanja celom masom ("mass flow")
  4. sigurno isticanje kroz lanal ("funnel flow")
- U standardu EC1, deo 4, ne daju se odredbe koje bi garantovale isticanje celom masom



EN 1991-4:2006: oblici isticanja kroz levak

a) Parallel pipe flow

b) Taper pipe flow

c) Eccentric parallel pipe flow

d) Eccentric taper pipe flow



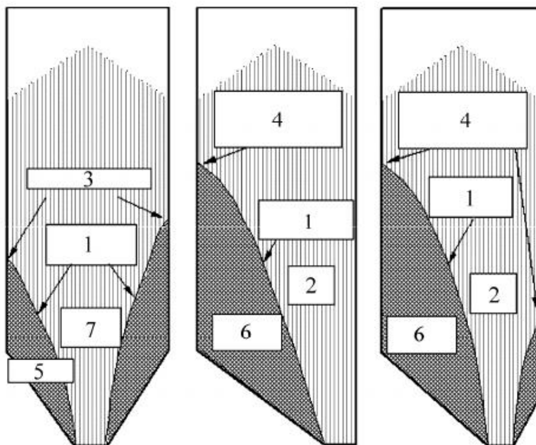
Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - oblici isticanja kroz levak

- Legenda uz prethodnu sliku:
  1. unutrašnje isticanje kroz levak
  2. ekscentrično isticanje kroz levak
  3. tečenje
  4. granica kanala tečenja
  5. levak tečenja
  6. stacionarno (miruje)
- Kod tečenja kroz levak, ili kod mešovitog isticanja, sa delimičnim kontaktom sa zidovima cilindričnog dela silosa, mogu da nastanu uslovi za nesimetrično isticanje



EN 1991-4:2006: mešoviti oblici isticanja





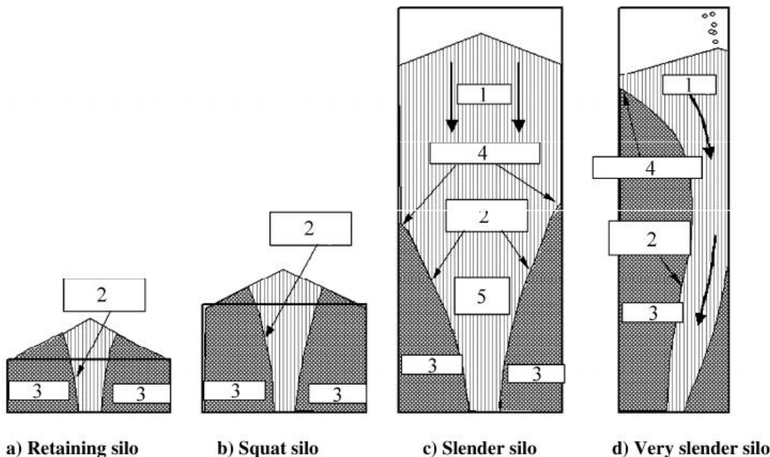
Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - mešoviti oblici isticanja

- Legenda uz prethodnu sliku:
  1. granica kanala isticanja
  2. oblast tečenja
  3. efektivna prelazna zona
  4. efektivna prelazna zona - promenljiva po obimu
  5. stacionarno (miruje)
  6. stacionarno (miruje)
  7. efektivni levak
- Kada silos ima više otvora za isticanje materijala, treba da se razmatraju mogućnosti da se otvori koriste pojedinačno, ali i svi istovremeno



EN 1991-4:2006 - uticaj vitkosti silosa na isticanje



a) Retaining silo b) Squat silo c) Slender silo d) Very slender silo

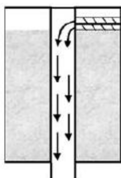
Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - Uticaj vitkosti silosa na isticanje

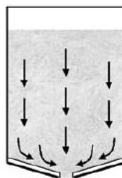
- Legenda uz prethodnu sliku:
  1. oblast tečenja materijala
  2. granica kanala isticanja
  3. stacionarno (miruje)
  4. efektivna prelazna zona
  5. efektivni levak



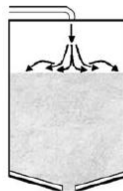
Posebni načini punjenja i isticanja



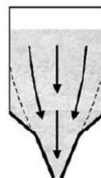
a) mechanical discharge with concentric pressures



b) air injection and air slides promote mass flow



c) pneumatic filling of powders causes almost flat top surface



d) expanded flow hopper gives mass flow only in bottom hopper

Proračun silosa prema EN 1991-4:2006

EN 1991-4:2006 - Posebni načini punjenja i isticanja

- Kada silos ima aerisano dno (slika (b)), donji deo silosa je "fluidizovan" stvarajući uslove za isticanje celom masom čak i za zdepaste silose
- U takvom slučaju proračun pritisaka u silosu usvaja se kao za vitke silose, bez obzira na stvarni odnos h_c/d_c
- Kada je vitkost silosa h_c/d_c manja od 0.4, ako takav silos ima levak na dnu, onda je to zdepasti silos, a ako je ravno dno, onda je to potporni silos



Sadržaj



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

EN 1991-4:2006 - Opšte napomene

- Opterećenja na vertikalne zidove silosa određuju se u zavisnosti od vitkosti silosa h_c/d_c
- U zavisnosti od odnosa visine cilindričnog dela silosa h_c i unutrašnjeg prečnika d_c, silosi se dele na 4 grupe:
  1. vitki silosi ("slender silos")

     $$h_c/d_c \geq 2.0$$

  2. umereno vitki silosi ("intermediate slenderness silos")

     $$1.0 < h_c/d_c < 2.0$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

EN 1991-4:2006 - Opšte napomene

- Podela silosa na grupe u zavisnosti od odnosa h_c/d_c (nastavak):
  3. zdepasti silosi ("squat silos")

$$0.4 < h_c/d_c \leq 1.0$$

  4. potporni silosi ("retaining silos")

$$h_c/d_c \leq 0.4$$

- Silosi sa sistemom za aeraciju tretiraju se kao vitki silosi bez obzira na odnos h_c/d_c



Evrokod 1 EN 1991-4:2006: geometrija silosa

a) Geometry b) Eccentricities c) Pressures and tractions



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

EN 1991-4:2006 - Opšte napomene (principi)

- Opterećenje na vertikalne zidove silosa sastoji se iz istovremenog delovanja
  - simetričnog opterećenja . . . stalno promenljivo opterećenje
  - lokalnog opterećenja ("patch load") . . . slobodno promenljivo opterećenje
- Detaljna pravila za određivanje opterećenja pri punjenju i pri pražnjenju daju se u zavisnosti od vitkosti silosa
- Dodatni slučajevi opterećenja definišu se za posebne situacije:
  - kada postoji sistem za aeraciju, pa se fluidizuje materijal
  - kada može da se razvije temperaturna razlika između zidova silosa i materijala
  - kada je osnova cilindričnog dela silosa pravougaona

Opterećenja na vertikalne zidove silosa

EN 1991-4:2006 - Opšte napomene (principi)

- Kada postoje veći ekscentriciteti pri punjenju i/ili pražnjenju, definišu se posebni različiti slučajevi opterećenja
- Ovi slučajevi opterećenja ne deluju simultano sa simetričnim i lokalnim opterećenjem, već pretstavljaju odvojene i različite slučajeve promenljivog opterećenja
- Kada može da se garantuje unutrašnji protok kroz levak, proračun može da se zasniva samo na opterećenjima pri punjenju, uključujući i lokalna opterećenja pri punjenju (gde odgovara)



Sadržaj



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Simetrični pritisci pri punjenju silosa dati su izrazima
  - horizontalni pritisak na zidove p_{hf}:

$$p_{hf}(z) = p_{h0} \cdot Y_j(z) \tag{2}$$

  - trenje po zidovima silosa p_{wf}:

$$p_{wf}(z) = \mu \, p_{h0} \cdot Y_j(z) \tag{3}$$

  - vertikalni pritisak u silosu p_{vf}:

$$p_{vf}(z) = \frac{p_{h0}}{K} \cdot Y_j(z) \tag{4}$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- U izrazima (2) do (4) uvedene su oznake:
  - najveći horizontalni pritisak

$$p_{h0} = \gamma\, K\, z_0 \tag{5}$$

  - Jansenova dubina

$$z_0 = \frac{1}{K\,\mu} \cdot \frac{A}{U} \tag{6}$$

  - funkcija raspodele po dubini

$$Y_j(z) = 1 - e^{-\frac{z}{z_0}} \tag{7}$$



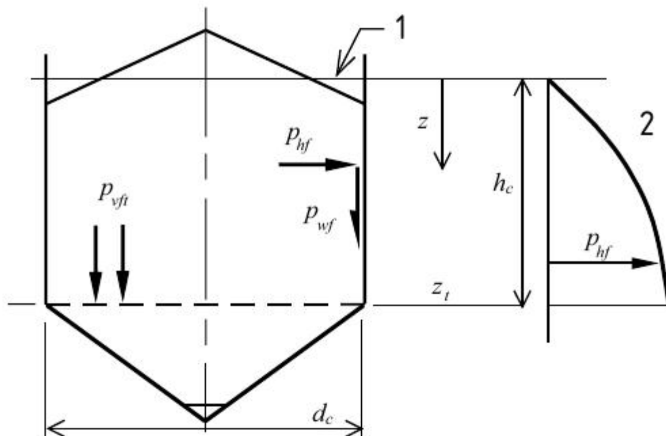
Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- U izrazima (2) do (7) uvedene su oznake:
  - γ ... karakteristična vrednost (gornja) zapreminske težine materijala
  - μ ... karakteristična vrednost koeficijenta trenja između materijala i zidova silosa
  - K ... karakteristična vrednost odnosa horizontalnog i vertikalnog napona u materijalu
  - z ... dubina u cilindričnom delu silosa mereno od ekvivalentne gornje površine materijala
  - A ... površina unutrašnjeg poprečnog preseka silosa
  - U ... obim unutrašnjeg poprečnog preseka silosa



Simetrični pritisci pri punjenju



1 - ekvivalentna površina materijala   2 - pritisci na vertikalni zid

Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Rezultujuća karakteristična vrednost vertikalne sile pritiska u zidu silosa na nekoj dubini punjenja z, po jedinici obima zida silosa, dobija se kao

$$n_{zSk}(z) = \int_0^z p_{wf}(z)\, dz = \mu\, p_{h0}[z - z_0\, Y_j(z)] \tag{8}$$

- Svi ovi izrazi su isti kao i u standardu SRPS ISO 11697, samo su donekle drugačije oznake
- Drugačije su i karakteristike materijala i koeficijenti trenja između zidova i uskladištenog materijla



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Lokano opterećenje ("patch load") pri punjenju koristi se da prikaže slučajne nesimetrije u opterećenju usled ekscentriciteta i imperfekcija prilikom punjenja
- Za silose u Klasi 1 ocene opterećenja ("Action Assessment Class 1") mogu da se ignorišu lokalna opterećenja pri punjenju
- Za silose koji su namenjeni za čuvanje praškastih materijala, sa aeracijom prilikom punjenja, lokalna opterećenja pri punjenju mogu da se zanemare
- Lokalno opterećenje pri punjenju prikazano je na sledećoj slici



Lokalno opterećenje ("patch load") pri punjenju

p_{pfs}, p_{pf}, θ, z_p, h_c, s, h_p, 1 — p_{pfi}, p_{pf}, s, h_c, 2

a) thin-walled circular silo | b) other circular silos

(a) tankozidni (čelični) kružni silos (b) ostali (AB) kružni silosi



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Objašnjenje o položaju lokalnog opterećenja:
  1. za zavarene silose u klasi AAC 2: manja vrednost od z_0 i $h_c/2$
  1. za ostale tankozidne silose u klasama AAC 2 i AAC 3: bilo gde
  2. bilo gde
- Intenzitet lokalnog opterećenja usmerenog od silosa p_{pf} usvaja se u zavisnosti od
  - e_f ...ekscentriciteta na vrhu silosa pri punjenju
  - p_{hf} ...intenziteta horizontalnog pritiska pri punjenju na mestu usvajanja lokalnog opterećenja
  - C_{0p} ...referentnog faktora lokalnog opterećenja datog materijala (dato je u Tabeli E.1)



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Intenzitet lokalnog opterećenja usmerenog od silosa p_{pf} dat je u obliku

$$p_{pf} = C_{pf}\, p_{hf} \tag{9}$$

gde je

$$\begin{aligned} C_{pf} &= 0.21\, C_{0p}\, (1 + 2E^2)\, \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} \\ E &= 2\, e_f / d_c \end{aligned} \tag{10}$$

pri čemu je

- e_f ...ekscentricitet punjenja na vrhu silosa
- C_{0p} ...referentni faktor lokalnog opterećenja datog materijala (dato je u Tabeli E.1)



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Visina sloja na koji se nanosi lokalno opterećenje jednaka je

$$s = \frac{\pi \, d_c}{16} \approx 0.2 \, d_c \tag{11}$$

- Lokalno opterećenje se prikazuje samo kao normalno horizontalno opterećenje p_n
- Ne uzima se u obzir nikakva promena u smičućim silama u pravcu zida zbog nanetih normalnih lokalnih sila
- Oblik lokalnog opterećenja pri punjenju zavisi od oblika i konstrukcije silosa



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Za AB silose kružno-cilindričnog oblika intenzitet lokalnog pritiska p_{pf}, prema (9), usvaja se na dve radijalno raspoređene lokacije visine i širine po s, prema prethodnoj slici (b)
- Kao dodatak na lokalno opterećenje koje je usmereno od silosa, na ostatku obima silosa usvaja se normalno opterećenje sa smerom ka silosu i intenziteta

$$p_{pfi} = \frac{p_{pf}}{7}$$

gde je p_{pf} lokalno opterećenje dato sa (9)



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Za tankozidne (čelične) silose kružno-cilindričnog oblika, u klasama AAC 2 i 3, kod kojih je $d_c/t > 200$ lokalni pritisak je raspoređen u sloju debljine s prema slici (a)
- Najveći intenziteti lokalnog pritiska su $\pm p_{pf}$, prema izrazu (9), a po obimu silosa intenzitet lokalnog opterećenja menja se po zakonu

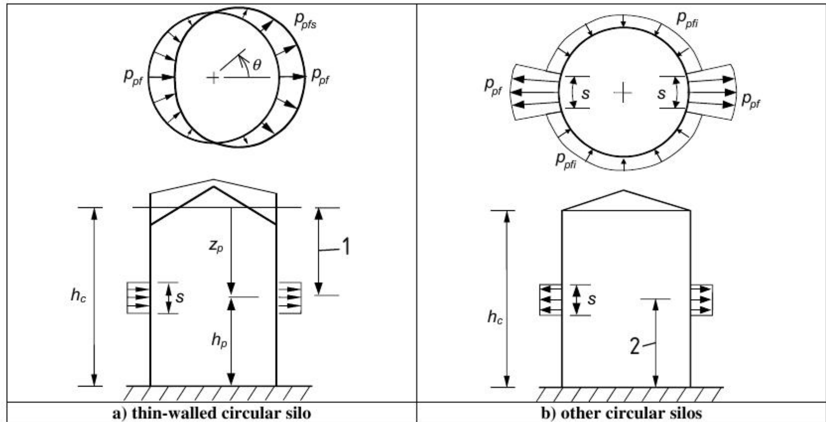
$$p_{pfs} = p_{pf} \cos\theta$$

gde je

- p_{pf} . . . pritisak dat sa (9)
- θ . . . ugaona koordinata



Lokalno opterećenje ("patch load") pri punjenju



(a) tankozidni (čelični) kružni silos (b) ostali (AB) kružni silosi

Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

- Lokalno opterećenje za betonske silose je uravnoteženo, dok je rezultanta lokalnog opterećenja za čelične silose jednaka

$$F_{pf} = \frac{\pi}{2}\, s\, d_c\, p_{pf}$$

- Za zavarene čelične silose u klasi AAC 2, lokalno opterećenje može da se usvoji na dubini z_p:

$$z_p = \min \begin{cases} z_0 & \text{Jansenova dubina} \\ \frac{h_c}{2} & \text{polovina visine cilindra} \end{cases}$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri punjenju

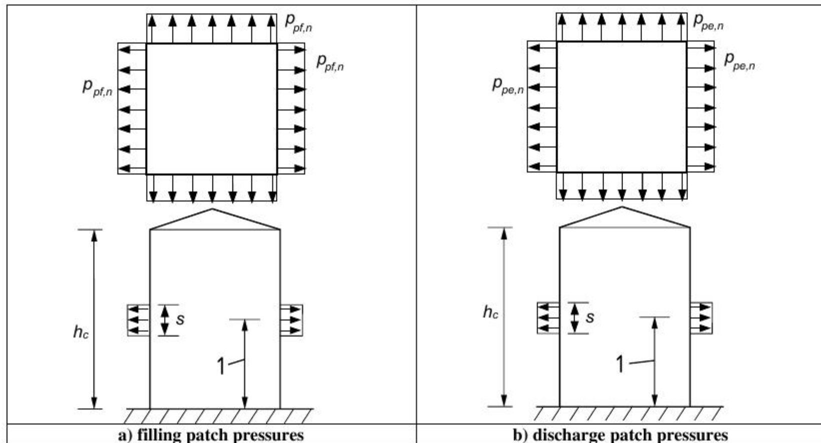
- Lokalno opterećenje pri punjenju za silose koji nisu kružnog preseka, u klasama AAC 2 i AAC 3, uzima se kao povećanje simetričnog pritiska
- Na širini sloja s, datim sa (11), usvojeno na bilo kojoj visini silosa, usvaja se simetričan pritisak intenziteta

$$p_{pf,nc} = 0.36\, p_{pf}$$

gde je p_{pf} lokalni pritisak pri punjenju dat sa (9), a d_c je odgovarajuća ekvivalentna dimenzija silosa koji nema kružni presek

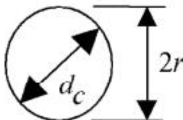


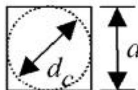
Lokalno opterećenje ("patch load") pri punjenju

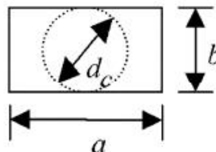


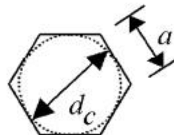
Lokalni pritisci ("patch load") pri punjenju (a) i pri pražnjenju (b)

Evrokod 1 EN 1991-4:2006: poprečni preseci









$A/U = \sqrt{3}\,(a/4) = d_c/4$

d) Cross-section shapes



Sadržaj



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Opterećenje pri pražnjenju silosa prikazuje se kao
  - simetrično opterećenje pri pražnjenju
  - lokalno opterećenje pri pražnjenju
- Simetrično opterećenje pri pražnjenju, za sve klase AAC, prikazuju se u obliku

$$p_{he} = C_h \, p_{hf} \qquad p_{we} = C_w \, p_{wf} \tag{12}$$

gde su

- C_h ... faktor pražnjenja za horizontalna opterećenja
- C_w ... faktor pražnjenja za trenje sa zidovima



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Za silose u svim AAC klasama koji se prazne sa vrha (nema tečenja u uskladištenom materijalu), usvaja se da su faktori pražnjenja jednaki jedinici:

$$C_h = C_w = 1.0$$

- Za sve vitke silose u klasama AAC 2 i AAC 3, faktori pražnjenja usvajaju se kao

$$C_h = C_0 = 1.15 \qquad C_w = 1.10$$

gde je C_0 faktor pražnjenja koji je jednak $C_0 = 1.15$ za sve materijale



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Kod vitkih silosa klase AAC 1, gde se koriste srednje vrednosti K i μ, faktori rasterećenja usvajaju se u obliku:

$$\begin{aligned} C_h &= 1.15 + 1.5\,(1 + 0.4\,e/d_c)\,C_{0p} \\ C_w &= 1.4\,(1 + 0.4\,e/d_c) \\ e &= \max(e_f, e_o) \end{aligned} \tag{13}$$

gde je

- e_f . . . najveći ekscentricitet pri punjenju
- e_o . . . ekscentricitet pri pražnjenju
- C_{0p} . . . referentni faktor lokalnog opterećenja za dati materijal (dato u Tabeli E.1)

Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Lokalna opterećenja pri isticanju ("discharge patch loads") služe da se prikažu slučajne nesimetrije tokom rasterećenja, kao i ekscentriciteti punjenja i pražnjenja
- Za silose u klasi AAC 1, lokalna opterećenja pri pražnjenju ne moraju da se posmatraju
- Referentna vrednost spoljašnjeg lokalnog pritiska pri pražnjenju p_{pe} data je sa

$$p_{pe} = C_{pe}\, p_{he} \tag{14}$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Koeficijent pritiska C_{pe} u izrazu (14) dat je u obliku:
  - za odnos $h_c/d_c > 1.2$

$$C_{pe} = 0.42\, C_{0p}\,(1 + 2E^2)\,\{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\} \tag{15}$$

  - za odnos $h_c/d_c \leq 1.2$ usvaja se veća od vrednosti datih sa (15) i (16)

$$\begin{aligned} C_{pe} &= 0.272\, C_{0p}\,(h_c/d_c - 1 + E) \\ C_{pe} &= 0 \end{aligned} \tag{16}$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- U izrazima (15) i (16) uvedene su oznake

$$E = 2 \cdot \frac{e}{d_c} \qquad e = \max(e_f, e_o)$$

gde su:

- e_f ...ekscentricitet pri punjenju
- e_o ...ekscentricitet pri pražnjenju
- p_{he} ...vrednost simetričnog horizontalnog pritiska pri isticanju na sredini sloja lokalnog opterećenja
- C_{0p} ...referentni faktor lokalnog opterećenja za dati materijal, dat u Tabeli E.1



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

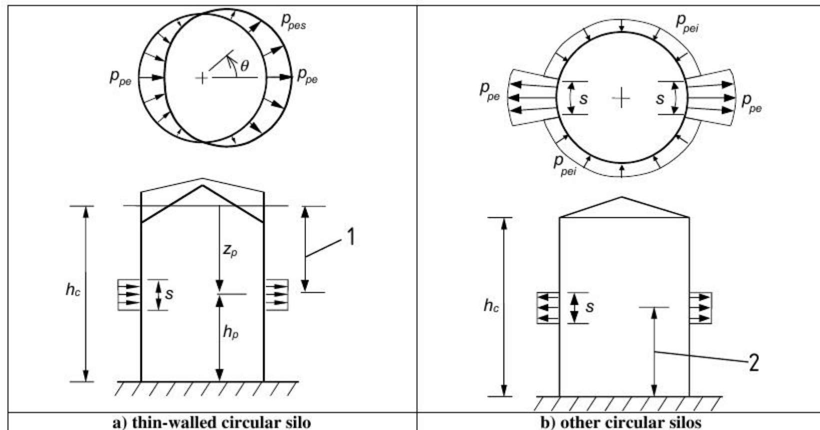
Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Oblik (zakon raspodele) lokalnog pritiska pri isticanju zavisi od vrste (od konstrukcije) silosa
- Za kružne silose sa debelim zidovima (za AB silose) lokalni normalni horizontalni pritisak p_{pe}, dat sa (14), usvaja se da deluje naspramno radijalno raspoređeno, sa smerom na spoljašnju stranu, na kvadratnim površinama stranice s, datim sa (11)
- Kao dodatak na taj lokalni pritisak na spoljašnju stranu, na celom preostalom obimu silosa na širini s usvaja se normalni horizontalni pritisak sa smerom ka centru silosa intenziteta

$$p_{pei} = \frac{p_{pe}}{7}$$



Lokalno opterećenje ("patch load") pri pražnjenju



(a) tankozidni (čelični) kružni silos (b) ostali (AB) kružni silosi

Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Za tankozidne (čelične) silose kružno-cilindričnog oblika, u klasama AAC 2 i 3, kod kojih je $d_c/t > 200$ lokalni pritisak je raspoređen u sloju debljine s prema slici (a)
- Najveći intenziteti lokalnog pritiska su $\pm p_{pe}$, prema izrazu (14), a po obimu silosa intenzitet lokalnog opterećenja menja se po zakonu

$$p_{pes} = p_{pe} \cos\theta$$

gde je

- p_{pe} . . . pritisak dat sa (14)
- θ . . . ugaona koordinata



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

- Lokalno opterećenje za betonske silose je uravnoteženo, dok je rezultanta lokalnog opterećenja za čelične silose jednaka

$$F_{pe} = \frac{\pi}{2} \, s \, d_c \, p_{pe}$$

- Za zavarene čelične silose u klasi AAC 2, lokalno opterećenje može da se usvoji na dubini z_p:

$$z_p = \min \begin{cases} z_0 & \text{Jansenova dubina} \\ \frac{h_c}{2} & \text{polovina visine cilindra} \end{cases}$$



Opterećenja na vertikalne zidove silosa

Vitki silosi - opterećenja pri pražnjenju

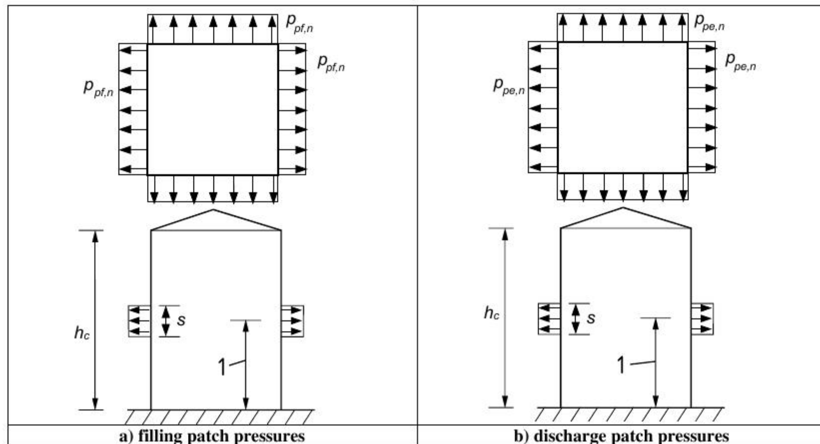
- Lokalno opterećenje pri pražnjenju za silose koji nisu kružnog preseka, u klasama AAC 2 i AAC 3, uzima se kao povećanje simetričnog pritiska
- Na širini sloja s, datim sa (11), usvojeno na bilo kojoj visini silosa, usvaja se simetričan pritisak intenziteta

$$p_{pe,nc} = 0.36\, p_{pe}$$

gde je p_{pe} lokalni pritisak pri pražnjenju dat sa (14), a d_c je odgovarajuća ekvivalentna dimenzija silosa koji nema kružni presek



Lokalno opterećenje ("patch load") pri pražnjenju



Lokalni pritisci ("patch load") pri punjenju (a) i pri pražnjenju (b)

Sadržaj



Evrokod 1 EN 1991-4:2006

Table 2.1: Recommended classification of silos for action assessments

Action Assessment Class	Description
Action Assessment Class 3	Silos with capacity in excess of 10 000 tonnes Silos with capacity in excess of 1000 tonnes in which any of the following design situations occur: a) eccentric discharge with $e_o/d_c > 0{,}25$ (see figure 1.1b) b) squat silos with top surface eccentricity with $e_t/d_c > 0{,}25$
Action Assessment Class 2	All silos covered by this standard and not placed in another class
Action Assessment Class 1	Silos with capacity below 100 tonnes

Preporučena klasifikacija silosa prema oceni dejstava na silose



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Zamenjujuće ravnomerno povećanje pritisaka

- Za silose u klasi AAC 2 nesimetrična opterećenja prilikom punjenja i pražnjenja silosa mogu da se uzmu u obzir zamenjujućim ravnomernim povećanjem simetričnog opterećenja
- Za silose koji nisu kružno-cilindričnog preseka, zamenjujuće ravnomerno povećanje simetričnih pritisaka već je prikazano:

$$\begin{cases} p_{pf,nc} = 0.36\, p_{pf} & \text{za punjenje} \\ p_{pe,nc} = 0.36\, p_{pe} & \text{za pražnjenje} \end{cases}$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Zamenjujuće ravnomerno povećanje pritisaka

- Za kružno-cilindrične silose zamenjujuće povećanje pritisaka umesto lokalnih pritisaka pri punjenju i pražnjenju može da se primeni samo ako su vrh i kraj cilindričnog dela silosa dovoljno ukrućeni (ako imaju prsten za ukrućenje)
- Za silose sa debelim zidovima (AB silosi) rezultujuće ukupno horizontalno simetrično opterećenje pri punjenju (indeks f) i pri pražnjenju (indeks e) određuje se kao:

$$\begin{aligned} p_{hf,u} &= p_{hf}\left(1 + \zeta\, C_{pf}\right) \\ p_{he,u} &= p_{he}\left(1 + \zeta\, C_{pe}\right) \end{aligned} \quad (17)$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Zamenjujuće ravnomerno povećanje pritisaka

- U izrazima (17) uvedene su oznake
  - ζ ... koeficijent dat sa

$$\zeta = \max \begin{cases} 0.5 + 0.01 \, \frac{d_c}{t} \\ 1.0 \end{cases}$$

  - dok su C_{pf} i C_{pe} faktori lokalnog opterećenja pri punjenju i pražnjenju, dati sa (10) i (15):

$$C_{pf} = 0.21 \, C_{0p} \, (1 + 2E^2) \, \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\}$$

$$C_{pe} = 0.42 \, C_{0p} \, (1 + 2E^2) \, \{1 - e^{[-1.5(h_c/d_c - 1)]}\}$$

$$E = 2 \, e_f / d_c \qquad \text{ili} \qquad E = 2 \, e_e / d_c$$

Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Zamenjujuće ravnomerno povećanje pritisaka

- Takođe, sa p_{hf} i p_{he} označeni su horizontalni pritisci pri punjenju i pražnjenju, dati sa (2) i (12):

$$p_{hf}(z) = p_{h0}\,Y_j(z) = p_{h0}\,(1 - e^{-\frac{z}{z_0}})$$
$$p_{he}(z) = C_h\,p_{hf}(z)$$

- Za tankozidne (čelične) silose rezultujući ukupni simetrični horizontalni pritisci za punjenje $p_{hf,u}$ i za pražnjenje $p_{he,u}$, kao i rezultujuće ukupne smičuće sile po zidovima pri punjenju $p_{wf,u}$ i pri pražnjenju $p_{we,u}$, dati su u obliku:

$$p_{hf,u} = p_{hf}\,(1 + 0.5\,C_{pf}) \qquad p_{wf,u} = p_{wf}(1 + C_{pf})$$
$$p_{he,u} = p_{he}\,(1 + 0.5\,C_{pf}) \qquad p_{we,u} = p_{we}(1 + C_{pe}) \tag{18}$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Zamenjujuće ravnomerno povećanje pritisaka

- U izrazima (18) uvedene su oznake:
  - p_{wf} . . . simetrične sile smicanja po zidu u slučaju punjenja, date sa (3)
  - p_{we} . . . simetrične sile smicanja po zidu u slučaju pražnjenja, date sa (12)

  dok su ostale oznake date na prethodnim slajdovima u kontekstu ekvivalentnog simetričnog opterećenja



Sadržaj



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Opterećenja pri isticanju sa velikim ekscentricitetom

- Definišu se posebne procedure za određivanje pritisaka pri isticanju u slučajevima velikog ekscentriciteta, za vitke silose kružno-cilindričnog oblika
- Ove procedure primenjuju se u slučajevima kada je
  1. ekscentricitet isticanja veći od kritičnog: $e_o > e_{o,cr} = 0.25d_c$ i kada je silos klase AAC 2 ili AAC 3
  2. ekscentricitet punjenja veći od kritičnog: $e_f > e_{f,cr} = 0.25d_c$, kade je vitkost silosa veća od 4.0: $h_c/d_c \geq 4.0$ i kada je silos klase AAC 2 ili AAC 3
- U tim slučajevima u određivanju pritisaka koristi se
  - donja karakteristika koeficijenta trenja μ
  - gornja karakteristika ugla unutrašnjeg trenja Φ_i

Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Opterećenja pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 2

- Proračun pritisaka vrši se samo za jednu veličinu kontakta levka tečenja sa zidom silosa, koja se određuje ze centralni ugao $\theta_c = 35°$
- Pritisci pri ekscentričnom isticanju usvajaju se na sledeći način:
  - horizontalni pritisci na delu zida u zoni kanala isticanja

$$p_{hce} = 0$$

  - horizontalni pritisci na delu zida izvan kanala (gde materijal miruje), videti sliku 5.5c

$$p_{hse} = p_{hf} \qquad p_{hae} = 2\, p_{hf}$$

Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Opterećenja pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 2

- Takođe se usvajaju i sile smicanja po zidu na delu izvan kanala isticanja (gde materijal miruje)

$$p_{wse} = p_{wf} \qquad p_{wae} = 2\, p_{wf}$$

gde je

- p_{hf} ...horizontalni pritisak pri punjenju, dato sa (2)
- p_{wf} ...sile smicanja pri punjenju, dato sa (3)



Ekscentričan kanal isticanja i pritisci na zidove

a) Elevation	b) Cross-section

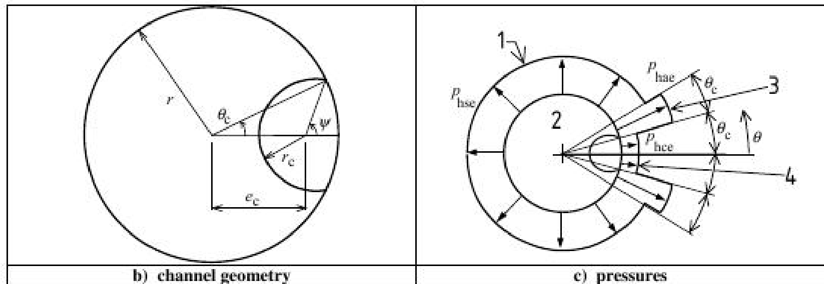
Key

1 Static pressures
2 Static solid
3 Local high pressure
4 Flow channel
5 Flow pressure

a) flow channel and pressure pattern



Ekscentričan kanal isticanja i pritisci na zidove



Key

1 Static pressures
2 Static solid
3 Channel edge pressures
4 Flow channel pressures

Figure 5.5: Eccentric discharge flow channel and pressure distribution



Sadržaj



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Geometrija kanala isticanja i njegova lokacija treba da odgovaraju geometriji silosa, načinu isticanja i osobinama uskladištenog materijala
- Ukoliko je sistem za pražnjenje silosa takav da je jasno definisana geometrija i lokacija kanala isticanja, treba da se odrede odgovarajući parametri za takav kanal isticanja
- Mali problem: ne kaze se KAKO!



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Kada nije moguće da se geometrija i lokacija kanala isticanja dovoljno pouzdano odredi na bazi načina i opreme za pražnjenje, treba da se izvrše proračuni sa ne manje od tri različita radijusa kanala isticanja r_c
- Na taj način uzimaju se u obzir slučajne varijacije u veličini kanala isticanja
- Ove tri veličine radijusa kanala isticanja usvajaju se u obliku

$$r_c = k_1\, r \qquad r_c = k_2\, r \qquad r_c = k_3\, r \tag{19}$$

gde je $r = d_c/2$ unutrašnji radijus cilindra silosa



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Vrednosti koeficijenata k_i (i=1,2,3) mogu da se usvoje u Nacionalnim aneksima za primenu Evrokodova
- Preporučene vrednosti su

$$k_1 = 0.25 \qquad k_2 = 0.40 \qquad k_3 = 0.60$$

- Ekscentricitet kanala isticanja e_c (videti sliku 5.5b) treba da se odredi prema izrazu:

$$e_c = r\left[\eta\left(1-G\right)+\left(1-\eta\right)\sqrt{1-G}\right] \qquad (20)$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- U izrazu (20) uvedene su oznake:

$$G = \frac{r_c}{r} \quad (\text{odn. } G = k_i) \qquad \eta = \frac{\mu}{\tan \Phi_i} \tag{21}$$

gde je

- μ ...donja karakteristična vrednost koeficijenta trenja
- Φ_i ...gornja karakteristična vrednost ugla unutrašnjeg trenja
- r_c ...radijus kanala isticanja materijala ($r_c = k_i\, r$)



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Treba da se ima u vidu da je ugao trenja Φ_w ($\mu = \tan\Phi_w$) uvek manji od ugla unutrašnjeg trenja Φ_i:

$$\Phi_w \leq \Phi_i$$

- U suprotnom, došlo bi do obrušavanja materijala uz zidove silosa (ako bi klizanje na kontaktu sa zidom zahtevalo veći smičući napon nego što unutrašnje trenje može da izdrži)
- Imajući ovo u vidu, uvek je zadovoljena relacija

$$\eta \leq 1.0$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Centralni ugao kojim se definiše dužina luka obima silosa koja je u kontaktu sa kanalom isticanja je $\theta = \pm\theta_c$, gde je

$$\cos\theta_c = \frac{r^2 + \theta_c^2 - r_c^2}{2r\theta_c} \tag{22}$$

- Lučna dužina zone kontakta zida i kanala isticanja data sa

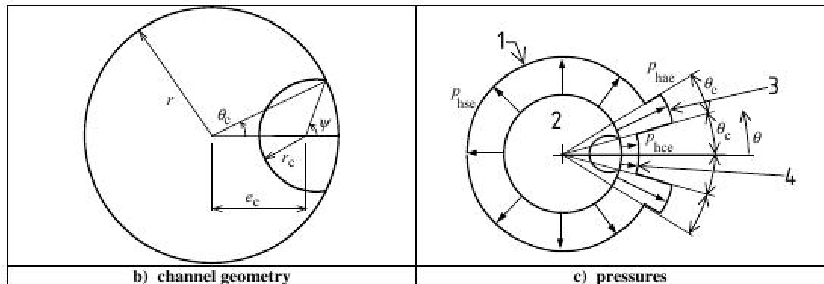
$$U_{wc} = 2 \cdot \theta_c \cdot r \tag{23}$$

dok je lučna dužina kontakta kanala isticanja i materijala koji miruje jednaka (videti sliku 5.5b)

$$U_{sc} = 2\, r_c\, (\pi - \psi) \tag{24}$$



Ekscentričan kanal isticanja i pritisci na zidove



Key

1 Static pressures
2 Static solid
3 Channel edge pressures
4 Flow channel pressures

Figure 5.5: Eccentric discharge flow channel and pressure distribution



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- U izrazu (24) ugao ψ određen je relacijom

$$\sin\psi = \frac{r}{r_c} \cdot \sin\theta_c \qquad (25)$$

gde su uglovi ψ i θ_i izraženi u radijanima

- Površina poprečnog preseka kanala isticanja data je sa

$$A_c = (\pi - \psi) \cdot r_c^2 + \theta_c \cdot r^2 - r \cdot r_c \cdot \sin(\psi - \theta_c) \qquad (26)$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Pritisci na zidove usled ekscentričnog pražnjenja zavise od rastojanja z od nivoa ekvivalentne površi:
  - horizontalni radijalni pritisci:

$$p_{hce} = p_{hc0} \cdot (1 - e^{-z/z_{0c}}) \tag{27}$$

  - vertikalni pritisci usled trenja sa zidovima:

$$p_{wce} = \mu \cdot p_{hce} = \mu \cdot p_{hc0} \cdot (1 - e^{-z/z_{0c}}) \tag{28}$$



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- U relacijama (27) i (28) uvedene su oznake:

$$p_{hc0} = \gamma \cdot K \cdot z_{0c} \tag{29}$$

$$z_{0c} = \frac{1}{K} \cdot \frac{A_c}{U_{wc} \cdot \mu + U_{sc} \cdot \tan \Phi_i} \tag{30}$$

pri čemu su

- μ . . . donja karakteristična vrednost koeficijenta trenja sa vertikalnim zidom
- K . . . koeficijent bočnog pritiska



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Pritisak na na vertikalan zid na dubini z od ekvivalentne površi, izvan zone kanala isticanja, gde se materijal ponaša statično (odn. gde materijal miruje), treba da se uzme kao pritisak pri punjenju:

$$p_{hse} = p_{hf} \tag{31}$$

- Trenje uz zidove dato je sa

$$p_{wse} = p_{wf} \tag{32}$$

gde su p_{hf} i p_{wf} odgovarajući pritisci pri simetričnom punjenju materijala, dati sa (2) i (3)



Opterećenja na vertikalne zidove vitkih silosa

Pritisci pri isticanju sa velikim ekscentricitetom: klasa AAC 3

- Najzad, na mestima zona uz kanale isticanja, gde se javljaju koncentracije pritisaka, vrednosti tih povećanih pritisaka, na dužinama luka sa centralnim uglom θ_c, iznose:
  - horizontalni radijalni pritisci:

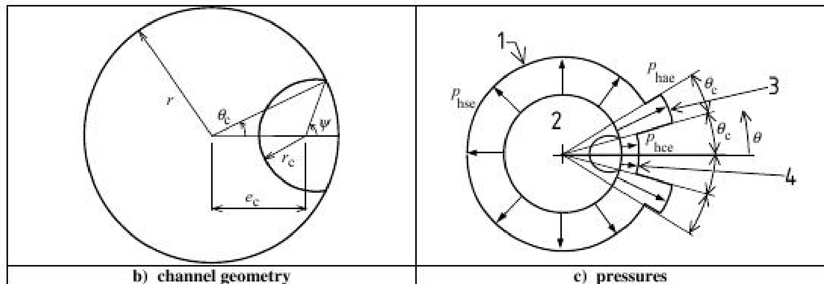
$$p_{hae} = 2 \cdot p_{hf} - p_{hce} \tag{33}$$

  - vertikalni pritisci usled trenja sa zidovima:

$$p_{wae} = \mu \cdot p_{hae} \tag{34}$$



Ekscentričan kanal isticanja i pritisci na zidove



Key

1 Static pressures
2 Static solid
3 Channel edge pressures
4 Flow channel pressures

Figure 5.5: Eccentric discharge flow channel and pressure distribution